

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-93871

(P2001-93871A)

(43)公開日 平成13年4月6日(2001.4.6)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコ-ト ⁸ (参考)
H 01 L 21/304	6 4 5	H 01 L 21/304	6 4 5 C 4 E 0 0 1
B 23 K 10/00	5 0 4	B 23 K 10/00	5 0 4 5 F 0 0 4
H 01 L 21/205		H 01 L 21/205	5 F 0 4 5
21/3065		H 05 H 1/30	
H 05 H 1/30		H 01 L 21/302	B

審査請求 未請求 請求項の数33 書面 (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平11-309808

(22)出願日 平成11年9月24日(1999.9.24)

(71)出願人 000205041

大見 忠弘

宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2-1-17-301

(72)発明者 大見 忠弘

宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2の1の17の301

(72)発明者 倭原 寿邦

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉05東北大學大学院工学研究科電子工学科内

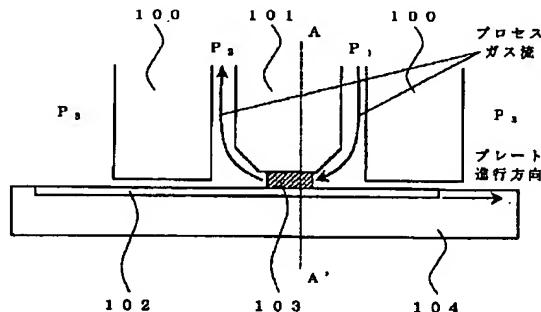
最終頁に統ぐ

(54)【発明の名称】 プラズマ加工装置、製造工程およびそのデバイス

(57)【要約】

【課題】現在の半導体プロセスはその半数以上が減圧装置であり、また洗浄・露光装置等は大気圧でしかプロセスを行えない。大気圧で動作する装置と減圧下で動作する装置とのインターフェイスを柔軟に構成することは不可能であり、これがボトルネックとなり効率的なプロセスに限界がある。

【解決手段】マイクロ波を用いて高密度のラジカルを含むプラズマを線状に形成し、ダメージフリーかつ高速な成膜・エッチング等を行い、連続的なウェハ等の加工を実現する。また、略々大気圧動作としガス流によるプロセス空間等の隔離を行うことでロードロックが不要となり、直接成膜・CVD・エッチング・平坦化・洗浄等のプロセスがガスの切り替えだけで可能なことから大半のプロセスを大気圧で行え、効率的なプロセスが可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 電磁波を用いて線状のプラズマを形成し、加工物表面を前記線状プラズマに水平に保ちつつ、加工物およびプラズマの相対位置を移動しつつ加工物の表面加工を行なうことを特徴とするプラズマ加工装置。

【請求項2】 前記電磁波がマイクロ波であることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項3】 前記電磁波がレーザであることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項4】 動作圧力が0.1mTorr以上であることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項5】 動作圧力が略々大気圧であることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項6】 酸素、窒素、アンモニア、水素およびフッ素のうち少なくとも一つと希ガスの混合ガスを用いたプラズマにより、加工物表面に直接成膜を行なうことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項7】 原料ガスおよび水素、酸素、窒素のうち少なくとも一つと希ガスの混合ガスを用いたプラズマにより、加工物表面にCVD成膜を行なうことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項8】 原料ガスおよび水素、酸素のうち少なくとも一つと希ガスの混合ガスを用いたプラズマにより、加工物表面のエッチングを行なうことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項9】 原料ガスおよび水素、酸素のうち少なくとも一つと希ガスの混合ガスを用いたプラズマにより、加工物表面の洗浄および金属面の平坦化のうち少なくとも1つを行なうことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項10】 希ガスおよび水素の混合ガスを用いたプラズマにより、加工物表面の平坦化、自然酸化膜除去および水素終端のうち少なくとも1つを行なうことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項11】 原料ガスおよび水素、酸素のうち少なくとも一つと希ガスの混合ガスを用いたプラズマにより、加工装置のクリーニングを行なうことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項12】 前記希ガスが、He・Ne・Ar・KrおよびXeのうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項6から11に記載のプラズマ加工装置。

【請求項13】 前記原料ガスが、Si_xH_y、SiH_yC₁、および有機金属ガスのうち少なくとも一つを含有することを特徴とする請求項7に記載のプラズマ加工装置。

【請求項14】 前記原料ガスが、NF₃・フロロカーボン・SF₆・CO₂のうち少なくとも一つを含有することを特徴とする請求項8および11に記載のプラズマ加工装置。

【請求項15】 前記原料ガスが、ハロゲン系元素を含有

することを特徴とする請求項8および9に記載のプラズマ加工装置。

【請求項16】 前記ハロゲンガスが塩素および臭素であることを特徴とする請求項15に記載のプラズマ加工装置。

【請求項17】 前記原料ガスが、Si_xH_yおよびSiH_yC₁のうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項10に記載のプラズマ加工装置。

【請求項18】 前記電磁波の放射面幅を変化させることにより実効的なプロセス速度を制御すること特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項19】 前記加工物と装置間のギャップに粘性流を形成することにより気密シールを行なうことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項20】 前記加工物が一体に移動するステージに固定されていることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項21】 前記マイクロ波がプラズマへの放射面全面において略々同位相で供給されることを特徴とする請求項2に記載のプラズマ加工装置。

【請求項22】 前記加工物の搬送装置の部材表面に耐腐食性の高い保護膜形成を行っていることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項23】 請求項6から11に記載のプラズマ加工装置を少なくとも2つ以上連結し、複数の工程を連続的に処理することを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項24】 水分除去機構が連結されていることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項25】 装置内の接ガス部が50°Cから250°Cに加熱されていることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項26】 前記加工物の形状がプレートであることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項27】 前記加工物の少なくとも一部は半導体であることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項28】 前記加工物の少なくとも一部はシリコンであることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項29】 前記加工物の少なくとも一部はガラス基板であることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項30】 前記加工物の少なくとも一部は樹脂基板であることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ加工装置。

【請求項31】 電磁波により励起されたプラズマにおいて、プラズマ形成部に少なくとも2層以上からなるガス層流を形成し、各ガス流に供給するガス種を選択することにより、原料ガスの解離および励起を制御すること

を特徴とするプラズマ加工装置。

【請求項32】 請求項6から11、23から25および28に記載のプラズマ加工装置により加工物の少なくとも一部を加工することを特徴とする製造工程。

【請求項33】 請求項6から11、23から25および28に記載のプラズマ加工装置により少なくとも一部を加工したことを特徴とするデバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はプラズマ加工装置およびデバイスの製造工程に係る。より詳細には、成膜・エッチング・平坦化・洗浄・水素終端等のプロセスに関して、特にマイクロ波やレーザを用いて励起した線状の超高密度プラズマを用いた連続加工装置、これを用いたデバイスの製造工程に適応して好適である。

【0002】

【従来の技術】 近年の半導体デバイスは微細化が進み、それに伴いプロセスにおける平坦化が必須となっている。現在この平坦化のプロセスはCMP (Chemical Mechanical Polishing) が多用されているが、均一性の確保、使用している研磨砥粒の再生や高濃度薬液の処理など問題点が多い。また、パーティクルの制御が重要な半導体プロセスにあっては、CMPのみを別エリアに隔離するといったことも必要となっている。

【0003】 また、大気にウエハ表面を曝す現状のプロセスでは、表面の自然酸化膜制御が重要である。とくに高濃度ドープされたSi表面、金属表面等は極めて容易に酸化される。この自然酸化膜は、ゲート酸化時の酸化膜特性の劣化・コンタクト抵抗の上昇・配線抵抗の上昇など様々なデバイス性能劣化の原因となる。

【0004】 Si表面のラフネスは、デバイスの性能摇らぎに直接影響する要因の一つである。原子オーダーでフラットな表面を得ることは難しく、CMPに加え犠牲酸化を繰り返し行なわなければならない。したがって、必ず800°C程度以上かつ長時間の熱処理が必要となってしまう。また、水素を用いた平坦化処理も実用化されているが、やはり900°Cを超える長時間の高温工程のため、同様の問題を抱えている。

【0005】 現在洗浄工程はウエットプロセスを用いて行なわれている。半導体製造においては、発生する汚染物は極めて微量であることが多いものの、それを除去する為に、大量の超純水と薬液を消費している。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 現在用いられているプラズマ装置を用いても平坦化や洗浄・自然酸化膜除去・水素終端といった工程を行なうことは可能である。しかしながら、一般的に使用されているプラズマは、動作圧力が数m Torrから数Torrであり、プラズマ密度は高い場合で 10^{12} 1/cm^3 程度しか得られず、こ

10

の時に得られる加工速度は、たかだか数nm/minから数μm/min程度である。

【0007】 また、多くのプラズマ装置は低圧で動作する為、真空引きおよび大気開放を行なわなければならず、ロードロック機構も必要である。したがって、それぞれのプロセスは隔離された空間を移動しながら、逐次的に行われざるおえない。

【0008】 これに対し、線状のプラズマを形成し、連続的にウエハを移動しながらプロセスを行なえば連続処理が可能であるが、例えば300mm×300mmのプレートを1枚1分で連続処理するとすると、1mm幅の加工を0.2secで完了しなくてはならず(すなわち、仮に1μm深さの加工を行なうとすると、加工速度が $300 \mu\text{m}/\text{min}$)、従来のプラズマ装置に比べて数桁高い加工速度が要求される。

【0009】 一方、高圧のプラズマ装置としては高周波を用いた平行平板型の連続処理装置やマイクロ波を用いた拡散型の加工装置があるが、高周波の場合は均一性よくプラズマを励起するための電気的な設計が困難でかつ周辺回路が大型であり、かつ密度も比較的小さいプラズマしか得られない。従来のマイクロ波励起を行なっている装置は、励起されている部位では確かに高密度のプラズマが得られるものの均一にする為に必要な拡散距離を必要とする為に装置が大型化し、プラズマ中のイオンやラジカルも大気圧での頻繁な衝突を繰り返した後にプレートに到達するため、実際の加工に使用される部位ではイオンやラジカル密度が著しく減少してしまう。

【0010】 このような連続行程を実現するために加工速度を数桁向上させるためには、プレート表面近傍で高密度のプラズマを線状に形成する事が必要不可欠である。

【課題を解決するための手段】

【0011】 本発明のプラズマ加工装置は、電磁波を用いて線状のプラズマを形成し、加工物表面を前記線状プラズマに水平に保ちつつ、加工物およびプラズマの相対位置を連続的に移動しつつ加工物の表面加工を行なう。

【0012】 本発明のプラズマ加工装置の一形態として、前記電磁波がマイクロ波である。

【0013】 本発明のプラズマ加工装置の一形態として、前記電磁波がレーザである。

【0014】 本発明のプラズマ加工装置の一形態として、動作圧力が0.1mTorr以上である。

【0015】 本発明のプラズマ加工装置の一形態として、動作圧力が略々大気圧である。

【0016】 本発明のプラズマ加工装置の一形態として、酸素、窒素、アンモニア、水素およびフッ素のうち少なくとも一つと希ガスの混合ガスを用いたプラズマにより、加工物表面に直接成膜を行なう。

【0017】 本発明のプラズマ加工装置の一形態として、原料ガスおよび水素、酸素、窒素のうち少なくとも

50

5
一つと希ガスの混合ガスを用いたプラズマにより、加工物表面にCVD成膜を行なう。

【0018】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、原料ガスおよび水素、酸素のうち少なくとも一つと希釈ガスの混合ガスを用いたプラズマにより、加工物表面のエッチングを行なう。

【0019】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、原料ガスおよび水素、酸素のうち少なくとも一つと希釈ガスの混合ガスを用いたプラズマにより、加工物表面の洗浄および金属面の平坦化のうち少なくとも1つを行なう。

【0020】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、希釈ガスおよび水素の混合ガスを用いたプラズマにより、加工物表面の平坦化、自然酸化膜除去および水素終端のうち少なくとも1つを行なう。

【0021】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、原料ガスおよび水素、酸素のうち少なくとも一つと希釈ガスの混合ガスを用いたプラズマにより、加工装置のクリーニングを行なう。

【0022】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、希釈ガスが、He・Ne・Ar・KrおよびXeのうち少なくとも一つを含む。

【0023】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、CVDの原料ガスが、Si_xHy、Si_xH_yC_{1-y}および有機金属ガスのうち少なくとも一つを含有する。

【0024】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、エッチングおよびチャンバクリーニングの原料ガスが、NF₃・フロロカーボン・SF₆・CO₂のうち少なくとも一つを含有する。

【0025】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、エッチング、洗浄および金属平坦化における原料ガスが、ハロゲン系元素を含有する。

【0026】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、エッチング、洗浄および金属平坦化において使用されるハロゲンガスが塩素および臭素である。

【0027】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、平坦化に使用される原料ガスが、Si_xH_yおよびSi_xH_yC_{1-y}のうち少なくとも一つを含む。

【0028】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、電磁波の放射面幅を変化させることにより実効的なプロセス速度を制御する。

【0029】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、加工物と装置間のギャップに粘性流を形成することにより気密シールを行なう。

【0030】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、加工物が一体に移動するステージに固定されている。

【0031】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、マイクロ波がプラズマへの放射面全面において略々同位相で供給される。

【0032】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、加工物の搬送装置の部材表面に耐腐食性の高い保護膜形成を行なっている。

【0033】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、請求項6から11に記載のプラズマ加工装置を少なくとも2つ以上連結し、複数の工程を連続的に処理する。

【0034】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、水分除去機構が連結されている。

【0035】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、装置内の接ガス部が50°Cから250°Cに加熱されている。

【0036】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、加工物の形状がプレートである。

【0037】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、加工物の少なくとも一部は半導体である。

【0038】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、加工物の少なくとも一部はシリコンである。

【0039】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、加工物の少なくとも一部はガラス基板である。

【0040】本発明のプラズマ加工装置の一形態として、加工物の少なくとも一部は樹脂基板である。

【0041】本発明の電磁波により励起されるプラズマを用いたプラズマ加工装置は、プラズマ形成部に少なくとも2層以上からなるガス層流を形成し、各ガス流に供給するガス種を選択することにより、原料ガスの解離および励起を制御する。

【0042】本発明のデバイスの製造工程は、請求項6から11、23から25および28に記載のプラズマ加工装置により少なくとも一部を加工する。

【0043】本発明のデバイスは、請求項6から11、23から25および28に記載のプラズマ加工装置により少なくとも一部を加工される。

【発明の実施の形態】

【0044】例えば大気圧の場合、気体分子の密度は10²⁰分子/cm³程度である。イオン化する気体分子の割合が1万分の1であるとすると、プラズマ密度は10¹⁰イオン/cm³程度、さらにラジカルの割合は数%程度であることから、ラジカル密度10¹⁰ラジカル/cm³程度という、桁違いの高密度プラズマが形成できる。すなわちこの超高密度プラズマを用いることで、従来のプラズマプロセスに比べ加工速度を2から3桁向上することが可能となり、例えば数μmの加工が必要な場合も数百msec程度の処理時間でプロセスが終了する。例えば300mmウェハ相当面積のプレートの加工を1工程数秒から数十秒で処理することも可能である。

【0045】また、高圧で動作させると、プレート周辺の気流を制御することで外部からの汚染や反応生成物の逆流を完全に防ぐことが可能になり、プロセス空間を完全に密閉する必要性がなくなる。その際、外界との分離

は気流制御（エアカーテン）で行なうことが可能である為、真空引きおよび大気開放の時間が短縮され、ロードロック機構も必要なくなる。これにより、従来全く不可能であった流れ作業（キャタピラ・ベルト・ローラー等を用いた搬送路に複数のプロセスを行なうチャンバを隣接させ、連続的に加工を行なう）によるプレートの加工が可能となる。

【0046】さらに連続した工程を連続的に処理できることから、隣接して複数のプロセス装置を配置することで、一つの工程が終わる前に次の工程を開始することが出来、プロセス時間の短縮が可能となる。この場合、各工程での加工速度を全て同一に揃える必要がある。たとえば、加工速度が遅いものは、プラズマへの投入エネルギーを増しプラズマ密度をより高密度にするといった対策のほか、同一のプロセスを行なうチャンバを複数直列に配置することで対応できる。さらには、プラズマ形成領域のプレート進行方向の線幅を可変にすることで、実効的なプロセス時間を変化させることが可能であるため、プロセス条件を変えることなく実効的なプロセス速度を調節することも可能である。

【0047】本発明で用いるプラズマは、主としてマイクロ波によって励起される。マイクロ波とは、周波数が数百MHzから数十GHzの電磁波である。これらの放電は電磁波励起である為、例えば絶縁膜を介してもプラズマを励起することが可能であり、またより高い周波数で励起することでプラズマからのイオンの照射エネルギーを数eV以下に低減することができ、チャンバを構成する材料からのスパッタリングによる汚染が抑制できる。仮に高周波を用いた場合、励起線幅を変えると系のインピーダンスが変化してしまい電源回路内部にインピーダンスを能動的に変更する機構が必要である。しかしながらマイクロ波の場合は、例えばスロットの幅を変更するだけで線幅の変更が可能であり、それに伴う電源回路構成の変更は必要ない。

【実施例1】

【0048】以下、図面等を用いて本発明の実施形態の一例について説明する。

【0049】図1は、本装置のプレート進行方向断面概略図である。プラズマ励起部103はチャンバ壁100および搬送装置104のギャップによって、外部雰囲気との遮断が行なわれている。このとき各部位の圧力を

$$P_3 > P_1 > P_2$$

と設定する事で、チャンバ壁100および搬送装置104のギャップには、粘性流を形成する事が可能であり、プロセスガスのチャンバ外部への漏洩を防ぐ事ができる。この漏洩防止の効果を高めるためには、チャンバ壁100および搬送装置104間の流れが層流である事が望ましい。

【0050】また、装置各部の構造を決定すると、各ギャップのコンダクタンスが一意に決定される事から、 $P_4 > P_3$

$P_4 > P_1 > P_2$ の圧力を決定すれば、プラズマ発生部101および搬送装置104間すなわちプラズマ励起部への流量およびチャンバ壁100および搬送装置104間すなわち外部への漏洩流量を設定する事ができる。よって、本装置は圧力を規定する機構さえあれば、ガス流量を規定する事が可能である。このことにより、より簡便な装置として実現したい場合は、圧力のみを制御すればよく、流量計を必要としない。当然ながら、流量計を使用しても任意の流量が得られることは言うまでもない。

【0051】本装置の図1におけるA-A'断面概略図を図2に示す。102は、プロセスが行なわれるプレートを指す。仮にこのプレートが例えばシリコンウェハのようにスリップ等の発生が懸念される場合、また加熱等を行なう際の均一性を向上したいといった場合は、プレートより大きいステージ上にプレートを設置して、ステージごと搬送装置104によって搬送することにより、プレートへのダメージを防止し、均一性の高いプロセスを行なう事ができる。

【0052】方形でないプレートを用いると、チャンバ壁100および搬送装置104間でのシール特性がプレート形状を反映して変化し、プロセス空間の圧力変動が生じる。したがって、プレート102および搬送装置104のプロセス面とチャンバ壁100の間隔が等しくなるように、プレート102が搬送装置104に埋没するような構造をとることが望ましい。現在多用されているような円形のシリコンウェハ等を用いる場合は、ステージにシリコンウェハと同程度の半径を持ち、シリコンウェハの厚みと略々同じ深さの溝を形成し、ウェハ表面とステージ表面高さをそろえる事で、エッジ部におけるプロセスの均一性を高めることができる。

【0053】なお、ステージを用いかつ加熱等を行なう際はプレート全面での熱の均一性の確保が重要である。そのためには、ステージにおいて少なくともウェハに接する部位の材質には熱伝導性の高い材質を使用することが望ましい。絶縁物であればAIN・Al₂O₃が望ましい。

【0054】また、高圧で使用する際はプレート裏面を真空引きすることにより密着性を確保することが望ましい。この際に、微量でもよいがプロセスもしくはシールガスを吸引することでプレート裏面に吸着した水分のプロセス空間への拡散を防止する事ができる。

【0055】図1のような圧力制御を行なうと、プロセスガスが外部に漏洩することは無くなるが、プロセスガスへ外部雰囲気の気体が混入してしまうため、チャンバ外部も高純度雰囲気にする必要がある。これに対し、図3のような構造を採用し、圧力が

$$P_4 > P_3$$

$$P_4 > P_1 > P_2$$

を満たすように圧力を設定する事で、ガス導入路300および301から吹き出すガスにより、シールが可能に

なる。ガス導入路301から吹き出すガスの一部はプラズマ103に直接供給されるため、プロセスのキャリアガスとすることが望ましい。一方、ガス導入路300から吹き出すガスは、特に粘性流でガスが供給されている場合はプラズマ部103には到達しないためプロセスに関係無く、例えば高純度のN₂等を用いても良い。

【0056】なお、本装置はマイクロ波で高密度プラズマが形成できる0.1 Torr以上の圧力で動作させることが可能であるが、低圧の場合はガス流が粘性流や分子流となることから異なった分離方法等が必要になる。しかしながら、成膜する膜の厚みが薄い場合や真空トンネル搬送などを採用したラインにおいては低圧動作での使用が望ましい場合がある。

【0057】(電磁波による線状の励起方式)マイクロ波を用いて線状のプラズマを形成するには、図4のような構造を例えば図3の101の内部に形成する。本構造は、H面スロットアンテナ400および均一化線路404から構成されている。H面スロットアンテナ400には、均一化線路402との間にスロットアレイが形成されている。スロットアレイは管内波長の1/2のピッチで導波管中心線405より左右に交互に配置されたスロット401により構成されている。このスロットアレイより放出される位相のそろったマイクロ波が均一化線路404に供給される。本事例ではスロット401の長軸が導波管中心線405に対し平行に設置されているが、スロット401が導波管中心線405に対し傾斜してもよい。

【0058】H面スロットアンテナ400は、位相のそろったマイクロ波を線状に放出できる構造で代用する事が可能である。E面アンテナをはじめ、円形導波管・同軸導波管等に形成されたスロットアレイでも同様の効果を得る事が可能である。また、線状プラズマの長軸方向長さが比較的短い場合は、ホーンアンテナ等も使用可能である。H面スロットアンテナ400への給電は、T字分岐のほか直管接続が可能である。その他の構造を採用した場合は、同軸導波管変換器、円形-矩形導波管変換器等を用いて接続が行なわれる。進行波を利用した系も可能であるが、給電効率等を考慮すると終端を短絡し、チューナ等を利用して共振系として利用する事が望ましい。

【0059】均一化線路402は、スロットアレイより放出された位相のそろったマイクロ波を利用して、空間的に均一化したマイクロ波の波面を形成するための平行平板線路(実用上は中心線405方向を長軸とする扁平矩形導波管)である。この線路により各スロット401から離散的に放出されたマイクロ波が均一化され、中心線405方向により均一な強度を持つ波面が形成される。このような効果を得る場合、特に共振系で設計した場合は、均一化線路404の紙面縦方向の高さを均一化線路402の管内波長(扁平矩形導波管のため、近似

的に均一化線路402内部の誘電率を考慮した自由空間波長でもよい。)の半波長の整数倍の高さとすることが望ましい。このようにすることで、均一化線路402縦方向の共振条件が満たされることとなり、効率のよい励起が可能となる。

【0060】均一化線路402で均一化されたマイクロ波はスリット403からプラズマに放出される。スリット403の幅を可変にすることで実効的なプロセス速度を変化させることができる。

【0061】なお、圧力が高い場合は、プラズマの拡散の効果が得られないため、形成されるプラズマの形状がマイクロ波の強度に強く相関する。したがって、図5のように均一な放電が可能な構成をとることが望ましい。一方、動作圧力が低い場合はプラズマの拡散が期待できるため、均一化線路が無くても同様の効果を得ることができる。また、ホーンアンテナのように単独で均一な波面が形成できる場合も、同様に均一化線路が無くてもよい。ホーンアンテナの場合に励起幅を偏向する場合は、アンテナ前面にスリットを形成すれば良い。

【0062】プラズマの供給系全てに共通して、マイクロ波放出面までの経路で放電が起きてしまうと放電部でマイクロ波が消費されてしまう。不必要的部位での放電を防止するために、経路に放電しにくいS F₆等のガスを充填する、真空引きもしくは加圧して放電しにくい圧力に保つ、誘電体を充填するといった手法が用いられる。誘電体を充填する場合は、マイクロ波の伝搬経路であるため損失の少ないS i O₂(熱伝導率:~1.4

[W/m·K])·A l₂ O₃(熱伝導率:~10[W/m·K])·A 1 N(熱伝導率:~160[W/m·K])等を用いることが望ましい。また、特にプラズマとの接面部は、イオン照射やラジカルに曝されかつ高温になるため熱伝導性の高いA 1 Nが望ましい。

【0063】なお、マイクロ波と同様に低ダメージのプロセスが行なえ、比較的簡便な装置構成でかつ高密度プラズマを得ることができる励起源としてレーザが考えられる。レーザの場合周波数が極めて高いためマイクロ波に見られるようプラズマからの反射は考慮しなくても良い。しかしながら、焦点面(実際には線状の形状となる)をウェハ表面より適宜離れた位置に設定することで、焦点面近傍のプラズマ温度の高い励起部とその周辺

のプラズマの拡散領域を形成することができ、マイクロ波と同様の扱いが可能となる。レーザを線状かつ均一に集光することは、透過屈折系や反射屈折系を組み合わせた光学系を用いることで容易に実現可能である。なお、使用できるレーザとしては、高出力の得られる炭酸ガスレーザ、YAGレーザをはじめとする固体レーザ、エキシマレーザやC u蒸気レーザ等があげられる。特に炭酸ガスレーザは光学系が組みやすく、高出力でかつ扱いも容易なため好ましい。

【0064】(複数種のガスの分離供給)マイクロ波を

用いたプラズマ励起を行なう際、カットオフ密度より電子密度が高くなると、マイクロ波はプラズマにより反射されプラズマ中を伝播できなくなる。このときプラズマの表面よりマイクロ波の侵入長であるスキンデプス
 $\delta = (2/\omega \mu \sigma)^{1/2}$

の数倍の深さの領域でプラズマの励起が行なわれている。 ω はマイクロ波の角周波数、 μ は透磁率、 σ はプラズマの導電率である。

【0065】仮に、カットオフ密度より電子密度が低いすなわちマイクロ波がプラズマ中を伝搬できる条件を選択すると、プレートにマイクロ波が照射されプレートの異常加熱が発生し、プレートやチャンバ壁からの反射波により定在波が生じ、プラズマが不均一になる、効率よく励起されない等の問題が生じる。したがって、高効率かつ均一なプロセスを行なうためには、カットオフモードを用いたプロセスを行なうことになるが、その際も深さ以外の部位にもプラズマは形成されるがこれは拡散によるものであり、特に電子温度は励起部位に比べて低くなる。

【0066】一般的に希ガス以外のガスを用いてプラズマ励起を行なうと電子密度が低下する傾向がある。またプロセスによっては解離が進まない方が好ましいガスがある。すなわち安定したプラズマを得るためにには励起部に希ガスが存在することが望ましく、解離を防止したいガスを安定供給するには励起部を避けて供給することが望ましい。

【0067】図5は、このような分離供給を可能とする装置の断面図である。希ガスおよび解離を促進した方がよいガスを供給系500から、解離を防止したいガスを501より供給する。供給系500および供給系501さらには供給系301の構造およびガス流量を適当に決定することにより、プラズマ励起部103に対して積層化した層流構造を形成することができる。

【0068】積層化した層流構造をもつプラズマ励起部103の詳細を図6に示す。プラズマ放射面600から放出されたマイクロ波はスキンデプスの深さ侵入した部位601で $1/e$ (≈ 0.368) 倍の強度となり、指數関数的に減衰していく。したがって、スキンデプスの数倍の距離プラズマ放射面600から離れるとマイクロ波によるプラズマの励起は無視できる。これ以上はなれた領域のプラズマは拡散プラズマであり、電子温度が低くガス分子を解離しにくい。供給系500から供給されたガス流605と供給系501および供給系301から供給されたガス流607との境界602をマイクロ波が侵入している領域605よりより遠い位置に設定することでガス流607内に含有するガス分子は解離されことなくプレート表面603上を移動していく。特にガス流606およびガス流607が層流である場合は、ガス流606およびガス流607に含有されるガス分子の交換が抑制されるため非常に高い分離効果が期待できる。

【0069】例えばCVDの場合は、ガス流606を希ガスとし、ガス流607を各種原料ガスや水素、酸素、窒素等の添加ガスとする事が望ましい。特に半導体や金属のCVDを行なう場合は、仮にガス流606側に原料ガスが含まれるとプラズマ放射面600に半導体や金属が成膜されマイクロ波を吸収・反射してしまい、マイクロ波が有効に入射しなくなりプラズマが励起できなくなる。したがって、特にSiエピタキシャル成長、各種SiO₂膜形成、金属薄膜形成、金属酸化および窒化膜形成、高・強誘電体形成等に使用されるSi_xH_y、SiH_xC_y、および有機金属ガスなどといった解離が起こりやすいガスはガス流607に含有させるべきである。

【0070】また、有機系の基を持つ原料ガスは、成膜時に各種基の効果により被覆性が改善されるなどの効果を持つため、解離が促進されないことでより高品質な成膜が可能となる。なお、希釈ガスは化学的反応性の低い希ガスが望ましいが、ガス種によりプラズマの状態や生成ラジカル種等が異なるため、原料ガスやプロセスに合わせてHe、Ne、Ar、KrおよびXeを場合によっては数種混合なども含めて適宜選択すればよい。

【0071】また、RIE等ではガスの機能に応じた供給分離が必要となる。たとえばC_xF_y/CO/O₂/希ガスの系を用いる場合、Siとその他の物質の選択比を決定するラジカルはC-C結合を持ったC-CF_xであり、CF_x系のラジカルまでには解離しない方がよい。したがって解離を防止し、プラズマを安定化するためにC_xF_y/O₂はガス流607側に、またCを供給するために解離が促進された方がよいCOと希釈ガスの希ガスはガス流606側に供給することで選択比の高いエッティングを実現するプラズマを形成する事ができる。この他にもフロロカーボン、塩素・臭素系等のハロゲン化物、CO₂、SF₆等の原料ガスを分離して供給することでより高精度の加工が可能となる。

【0072】また、Siの平坦化処理を行なう際には、エッティングをたとえば希ガスで希釈した水素で行なうが、プロセスガスにSi_xH_yやSiH_xC_yを微量添加し、競合反応とすることで平坦化の効果を向上することができる。このような場合の添加ガスもガス流607側に供給することでプラズマ放射面600への成膜を防止することができる。

【0073】同じガスを使用する場合でもその用途により導入経路を変化させることで異なる効果が得られる場合がある。例えば直接酸化や直接窒化を行なう場合、酸素や窒素、水素、アンモニア、フッ素等のガスをどちらに供給するかにより生成されるラジカル等は変化する。仮にこれらのガスを解離しにくいガス流607に供給した場合でもラジカルは形成される。この時ラジカルが形成される主な過程はマイクロ波によって励起された希ガスのイオン・ラジカルとの衝突等による間接的な過程であり、一般的にマイクロ波により直接励起されたラジカ

ルとはラジカル種・密度とも異なる。すなわち、導入経路により複数の反応雰囲気が実現できるため、成膜速度・膜質等の異なる成膜が実現できる。

【0074】なお、ある特定の分子間衝突で効率よく励起されるラジカル・イオン等がある場合は、励起分子を606、被励起分子を607に供給することで励起分子を効率的に励起し、被励起分子はマイクロ波による励起を最小限にでき、効果的に目的のラジカル・イオン等が形成できる。たとえば直接酸化を行う際に606に希釈ガスであるKrに微量のHeを添加したガスを、607に原料ガスである酸素をKrで希釈したガスを流すことにより、Kr励起では生成しにくい酸素ラジカルが形成でき異なる膜質や成膜速度を得ることができる。これは水素最終等のプロセスでも同様の議論が可能であり、対象となる材料と加工結果に合わせてガスの供給形態を決定することでより選択性や膜質等の特性を向上することが可能である。

【0075】いずれのプロセスにおいても特に高圧でのプロセスでは平均自由行程が短いためプレート表面に対するイオン照射が無視でき、ダメージフリーのプロセスが可能である。しかしながら、低圧で平均自由行程が無視できずイオン照射によるダメージが問題となる場合は、KrやXeといったより質量かつ原子半径の大きい希ガスを用いることでダメージを軽減できる。

【0076】(表面処理)これらのプロセスを可能とす*

保護膜 組成	Cr ₂ O ₃	FeF ₂	AlF ₃ MgF ₂	NiF ₂
主な母材	SUS	SUS	Al-Mg系 合金	任意 (Niメッキ 表面)
形成温度 [°C]	500	220	350	350

形成 雰囲気	不活性ガス H ₂ 10% H ₂ O 100ppm	F ₂	F ₂	F ₂
特徴	オゾンおよび 酸素ラジカル 外に適応可能	フッ素系ガス に対する耐腐 食性が高い	装置の軽量化 が可能 水素外に適応 可能	母材に対する 制限が少ない 水素外に適応 可能

【0078】(複数プロセスの連続化)本特許のような装置構成を採用すると、複数プロセスをコンパクトに集積化することが容易に可能である。図7にその断面図を示し、図8にその斜視図を示す。なお、図8は隔壁706を省略してある。700から702は、図1または図3または図5のような構造を内部に含むチャンバ単体である。これにヒータ等の補機を含む703から705が付属している。

【0079】プレートを過熱する際、不均一な加熱がスリップ等の発生を誘発する場合はプロセス部(プラズマ励起部703とプレートとの接面)以外の場所も均一な温度に保たれる必要がある。したがって、709方向に

* 本実施例において、水分吸着を防止したい部位、高濃度のラジカルに曝される可能性のある装置表面は全て従来のSUS316L材にアルミニウムを(～4.16%)添加した高濃度アルミニウム添加ステンレスを用いて形成し、10%水素添加Arに1ppmの水分を添加した酸化還元競合雰囲気において900°Cに昇温することで、表面の非常に安定な酸化アルミニウム不働態膜を形成した。これにより、腐食性の高い塩素系ガスやフッ素系ガスに対して、また高密度プラズマにより形成される高濃度ラジカルに対しても優れた耐腐食性があり、H₂やNF₃等を用いたチャンバクリーニングを行なってもプレートへの金属汚染等が全く発生しない。更には、水分脱離特性に優れかつ触媒性が低いことから、水分に極めて敏感に反応するシラン等のガスも変質することなくプロセス空間に供給される。

【0077】なお、水分脱離特性の高いCr₂O₃保護膜、アルミニウム-マグネシウム合金上の弗化アルミニウムおよび弗化マグネシウム混合保護膜、Niメッキ表面の弗化ニッケル保護膜等を加工性、耐ラジカル性、水分吸着特性、触媒性等を考慮して適宜材料を選択し、保護膜形成を行なうことで信頼性の高い装置とすることができます。主な保護膜の組成、形成条件等の一例について示す。

【表1】

進行してきたプレートが全て703の加熱範囲に入ったところで703での加熱シーケンスを開始するとともに、プレート全面のプロセスが終了するまでは705による加熱を行ない終了とともにプレート全面で均一に冷却、放熱もしくは加熱停止シーケンスを開始することが望ましい。特に700、701および702で行なわれるプロセス温度が異なる場合は図7のような構成が望ましい。場合によっては、プレートと一体に移動するステージに加熱機構を持たせて703等での加熱を行なわなくてもよい。この場合は、各段でのプロセス温度が異なっていても問題ないため、略々プレート進行方向長さ程度にまで単体チャンバの設置間隔を狭める事ができる。

【0080】例えば図5のようにプロセス雰囲気とチャンバ外部の分離が行なわれていても、単体チャンバ間搬送中に仮に大気にプレート表面が曝されると、1秒後には平行吸着水分量に近い水分が大気からプレート表面に付着してしまい、プロセス雰囲気に水分を持ちこんでしまう。したがって図7には隔離壁706が導入されている。これにより単体チャンバ間搬送中のウェハへの水分吸着は防止できる。なお、大気圧近傍の圧力より低圧で動作させる場合は、隔離壁706は必須であり、かつ装置最前部および最後部にロードロック機構が必要となる。

【0081】また、排気口707から出てくるガスは純度が高く高純度なバージガスであるため、容易に再生利用可能である。結果的にクラスタ装置の両端の排出口708のみでガスが外部に放出されるため、バージガスの消費量を低減することができる。

【0082】本装置においては最初にプレートが導入されてきた時にプレート表面に吸着してきた水分等を除去する機構が設けられていない。しかしながら、最初の工程を行なう700が、プラズマを用いた水分除去や酸化膜除去・剥離または洗浄等のプロセスを行なっている際にはこのような構成で十分である。

【0083】初期に非プラズマでの水分除去が必要な場合の構成例を図9に示す。水分除去機構900は例えばランプ照射を用いて、プレート表面の水分を除去する。IRランプなどを用いてもよいが、ランプ照射によるプレートの加熱等が問題となる場合は、表面水分のみを除去する事が可能であるエキシマレーザ等を利用すればよい。また、水分除去機構900を設けなくてもプレート導入口からチャンバ700まで適当な距離を取り、プレートを加熱することで水分を脱離させ700から流れてくる高純度バージガスに水分を吸収させるという手法も可能である。

【0084】図9は加熱系に関する構造も提案している。複数のチャンバで同じプロセス温度による処理が可能な場合は、903のように連続して全領域を加熱すればよい。その際には、プレート全面での均一加熱を可能とするため、昇温降温可能な加熱部901および902を最前部および最後部にそれぞれ設置することで、スリップ・面内歪等を起こさない加熱が可能となる。

【0085】(両面同時加工)これらの手法ではプレート上面の水分除去が可能である。しかしながら前述のようなプレート下部からの水分拡散防止が難しい場合は、図10のような構成を採用する。チャンバ1000は、プラズマ励起部をプレート102に対して上下対称に有している。これにプレート102を通過させることにより、プレート両面の水分除去が同時に可能である。

【0086】この手法は、プレート両面で水分除去や酸化膜除去・剥離または洗浄等が必要な際に有効であり、適宜上面加工のみのチャンバ700等と混在して使用さ

れる。これらの連続可能装置における水分除去に関する機構等は単体チャンバに対しても用いることができることはいうまでもない。

【0087】(反応副生成物等堆積防止)本装置においてはプレート進行方向のガスの組成や分圧等の均一性を必ずしも確保する必要はない。したがって、例えばCVDの場合などは反応必要量のみの原料ガスを添加し、排気側の原料ガス濃度をきわめて低いレベルに抑制すると言ったことも可能であるが、一般的にCVDに限らずRIEでの反応生成物等もチャンバ壁等に堆積してしまう。この堆積物が装置内の発塵源となるなどプロセスに悪影響を与える場合が多い。

【0088】また、最近研究が進められている有機金属ガスを用いたCVD(MO-CVD)等では液ガスの蒸気圧が低いためにガス供給経路を高温に保持しておく必要がある。これに対し、チャンバ壁を好ましくは50°Cから250°C程度に昇温しておくと堆積速度や結露を数桁のレベルで低減することが可能であり、チャンバクリーニングやメンテナンスの頻度を激減することが可能であり、安定なガス供給が可能となる。ただしこのような対策をするしないにかかわらず、チャンバをNF₃やH₂、特に有機物の場合はO₂を添加したプラズマを用いて定期的にクリーニングすることによりチャンバの状態を良好に保つことが可能であることは言うまでもない。なお、クリーニングの際添加されるガスはフロロカーボン・SF₆・CO₂など各種物質に対し洗浄効果があるものも適宜使用される。

【0089】(連続加工装置によるシステムインテグレーションおよびライン構築)これまでにも述べたように本装置は大気圧近辺での流れ作業生産ラインを実現することができる。この際、PVDおよび違方性エッティング以外の成膜・エッティング・平坦化・洗浄工程を本装置で構成できる。残る主要なプロセスは露光および一部洗浄、イオンインプランテーションである。

【0090】イオンインプランテーションは例えばレーザドーピングなどの技術を用いると本装置と同様の構成で実現できることから、PVDおよび違方性エッティング以外の全ての工程が大気圧下で実現することができる。すなわちプロセスの8割から9割近くを本装置と同様に結合しラインを構築することが可能となり、これまで実現し得なかった超高速TATコンパクト生産ラインが構築される。特にLCDをはじめとするFPD生産においては異方性エッティングが必要無いことから全工程大気圧生産が可能となり、革新的な生産ラインを構築できる。

【0091】なお、本装置は微細回路加工やマイクロマシンング等の微細加工が目的であり、プレートは、半導体基板であるSi・SiC・ダイアモンド・Geウエハ、GaAs等の化合物半導体ウエハ、高速動作回路に用いられるサファイア基板、液晶等に用いられるガラス

・石英基板、フロロカーボン系・ポリイミド系等の樹脂基板などでも同様の効果が得られることは言うまでもない。

【実施例2】

【0092】本発明における洗浄装置について説明する。これはドライ洗浄と呼ばれる洗浄技術であるが、本装置では前述したように従来の数桁以上の洗浄効果と洗浄速度を得ることが可能である。いくつかのサブプロセスにおけるガスの選択とその効果について述べる。

【0093】従来の硫酸過水洗浄に相当するものがプロセスガスに酸素を含むプラズマプロセスにより実現される。マイクロ波によって励起生成された高濃度の酸素ラジカルがプレート表面に付着した有機物を酸化し、H₂O、CO₂、NO_x、SO_x等に分解し表面より除去する。

【0094】また、従来の塩酸過水洗浄に相当するものがプロセスガスに塩素もしくは臭素等を含むプラズマプロセスにより実現される。一般に特に金属の塩化物や臭化物は蒸気圧が低く、容易に昇華する。したがって、高密度の塩素ラジカルや臭素ラジカルを形成することでプレート表面の金属不純物や有機物を酸化した後の無機成分が除去できる。いずれにせよ、本装置における平坦化処理は低運動エネルギーのラジカルやイオンによる化学的反応により処理が進行する。なお、同様のプロセスで金属面の平坦化が可能である。しかしながら、金属面の平坦化は高いスループットが要求されるため一般的に原料ガス濃度や圧力、入射パワー等が洗浄に比べ大きい必要がある。

【0095】洗浄工程に付随し重要な工程に、自然酸化膜除去と水素終端処理がある。これはどちらも希フッ酸により行なわれている。ところがこの工程では例えばシリコン表面とパーティクルのゼータ電位が制御されず前工程で除去したパーティクルが再付着してしまうという欠点がある。これに対し、マイクロ波により励起された高密度水素ラジカルを用いて酸化膜エッティングと水素終端を行なえばパーティクルが再付着することなく希フッ酸と同レベルの水素終端面が形成可能である。

【0096】本装置によるプレート洗浄においては、有機物および無機物の除去は可能である。特に従来装置よりも洗浄速度が極めて高いため比較的大きな異物にまで対応できる。しかしながらもう1つの要素であるパーティクルの除去に関してはプラズマプロセスだけで対応するのは難しい。本装置の動作圧力を略々大気圧程度に設定すれば、従来の洗浄装置との結合が容易に可能である。また、公知の少水型洗浄装置などは本装置の搬送系にそのまま結合する事が可能であるため、本装置内部に組み込むことにより完全な洗浄工程を実現できる。このような形式をとれば、真空引きや大気開放・装置間搬送等の時間を大幅に短縮でき、ファブリコントの縮小やプロセス時間の短縮が図れる。

【0097】従来ドライ洗浄にプラズマを用いた場合、高エネルギー衝突による膜へのダメージ発生、プラズマの不均一性に由来する酸化膜絶縁破壊などの問題を抱えていた。しかしながら本発明の装置において特に高圧条件下で得られるプラズマのプラズマボテンシャル自体は極めて低いレベルにあり、これらの諸問題が回避され、理想的なドライ洗浄技術が確立される。

【0098】なお、本発明は、その精神または主要な特徴から逸脱することなく、他のいろいろな形で実施することができる。そのため前述の実施例はあらゆる点で単なる例示に過ぎず、限定的に解釈してはならない。本発明の範囲は、特許請求の範囲によって示すものであって、明細書本文には何ら拘束されない。さらに、請求項の範囲の均等範囲に属する变形や変更は、全て本発明の範囲内のものである。

【発明の効果】

【0099】本装置を用いることで例えば半導体の微細回路形成プロセスの殆どを大気圧プロセスにすることができる、また大口径にわたる加工が可能なことから飛躍的に生産性を向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 プロセス空間近傍のプレート進行方向断面図である。

【図2】 プロセス空間近傍のプレート進行方向垂直断面図である。

【図3】 圧力制御方式の異なる装置断面図である。

【図4】 マイクロ波供給部の斜視図である。

【図5】 分離供給を採用した装置の断面図である。

【図6】 分離供給時のプロセス空間の概念図である。

【図7】 クラスタリングした装置の断面図である。

【図8】 クラスタリングした装置の斜視図である。

【図9】 水分除去機構を導入した連続処理装置断面図である。

【図10】 両面同時加工が可能な装置断面図である。

【符号の説明】

100 チャンバ壁

101 プラズマ発生部

102 プレート（ステージ）

103 プラズマ励起部

104 搬送装置

200 チャンバ側壁

300 ガス導入路（下流側シールガス供給）

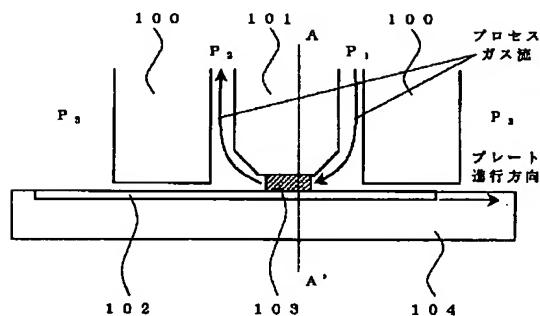
301 ガス導入路（上流側シールガス供給）

50 400 H面スロットアンテナ

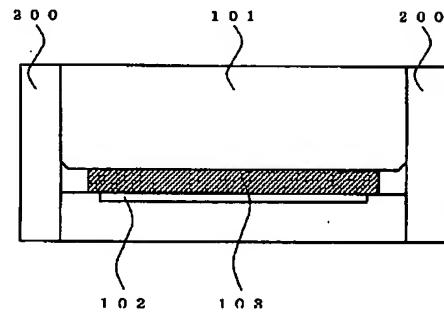
401 スロット
 402 均一化線路
 403 プラズマ励起部
 404 均一化線路側壁
 405 中心線
 500 供給系（解離ガス）
 501 供給系（非解離ガス）
 600 プラズマ放射面
 601 プラズマ侵入領域境界
 602 ガス流境界
 603 プレート表面
 604 ガス進行方向
 605 プラズマ侵入領域
 606 解離ガス流
 607 非解離ガス流

* 700 チャンバ1
 701 チャンバ2
 702 チャンバ3
 703 補機1
 704 補機2
 705 補機3
 706 隔離壁
 707 排気口
 708 排出口
 10 709 プレート進行方向
 900 水分除去機構
 901 最前部加熱部
 902 最後部加熱部
 903 連続加熱部
 * 1000 両面同時加工チャンバ

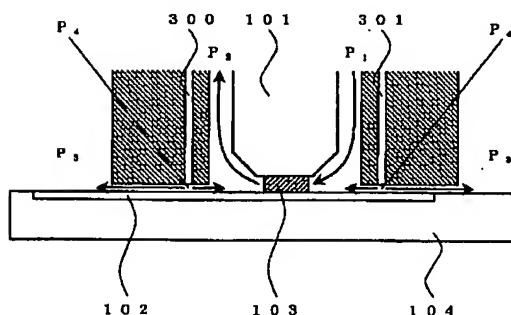
【図1】



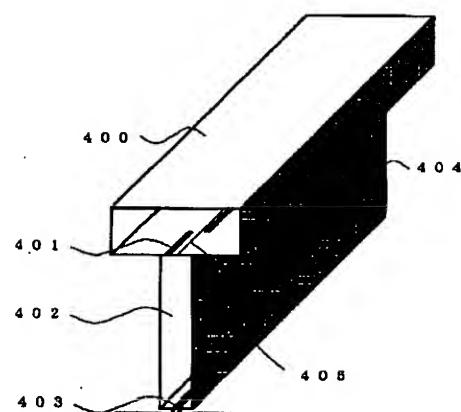
【図2】



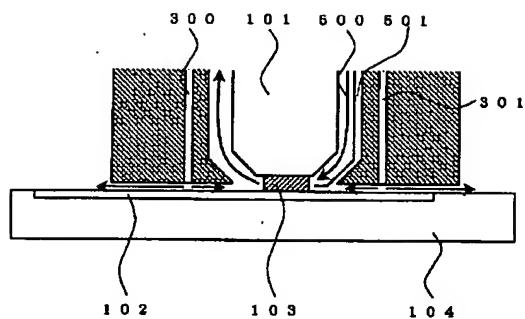
【図3】



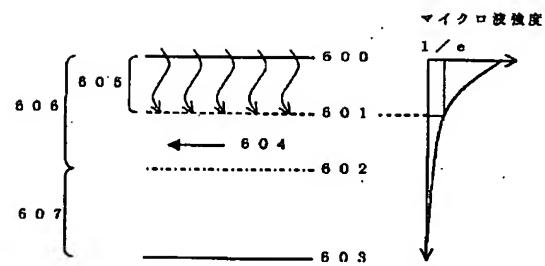
【図4】



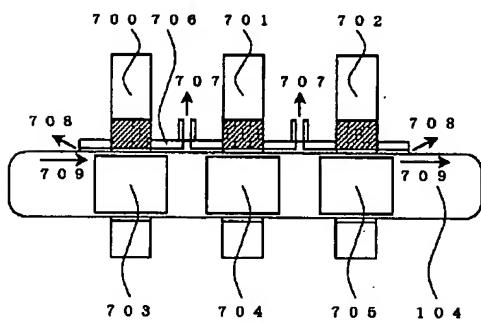
【図5】



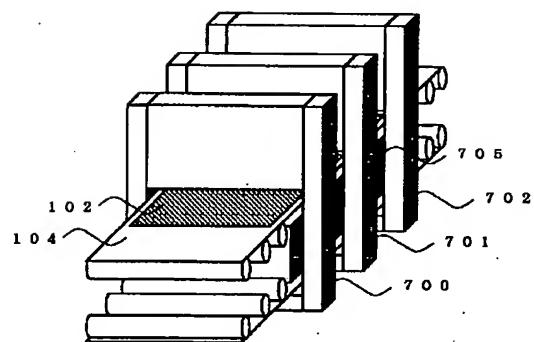
【図6】



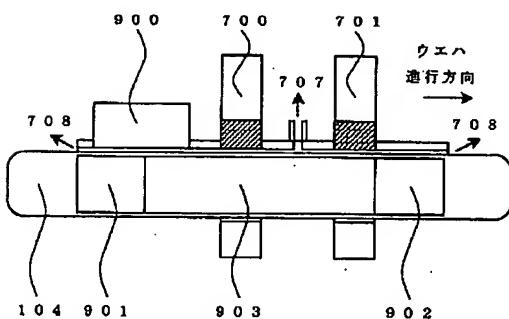
【図7】



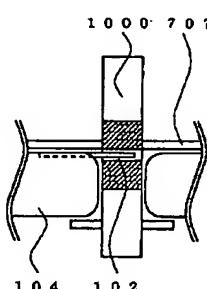
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

F ターム(参考) 4E001 LH00 NA01
5F004 AA01 AA16 BA20 BB11 BB24
BC04 BC06 BD04 CA02 CA05
DA00 DA01 DA02 DA03 DA15
DA16 DA17 DA18 DA22 DA23
DA24 DA25 DA26
5F045 AA09 AA13 AC01 AC05 AC11
AC12 AC15 AC16 AC17 AE13
AE15 AE17 AE19 AE21 AE23
AE25 AE29 AF03 AF08 BB02
BB09 DP23 DQ15 EF01 EF17
EH05 EH10 EM01 HA24 HA25